

ется более быстрый переход таких систем в типичные капиллярно-пористые тела, что дает основание говорить о положительном решении проблемы быстрого высыхания конструкций и изделий на основе гипсовых вяжущих.

1.Рунова Р.Ф., Носовский Ю.Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів – К.: КНУБА, 2007. – 256 с.

2.Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / Под ред. А.В.Ферронской. – М.: АСВ, 2004. – 488 с.

3.Корвяков В.Ф. Сухие строительные смеси для полов // Стройпрофиль. – 2004. – №7. – С.16-20.

4.Рапина К.А. Виды многослойных стяжек на основе гипсовых вяжущих // Тезисы докл. XXXIII науч.-техн. конф. ХНАГХ. Ч.2. – Харьков: ХНАГХ, 2006. – С.152-154.

5.Рапина К.А. Гидрато- и структурообразование гипсовых вяжущих, используемых для устройства самонивелирующихся стяжек полов // Материалы к 47-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С.86-87.

Получено 19.02.2009

УДК 691.327

В.И.КОРСУН, д-р техн. наук, А.С.ВОЛКОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка

МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ ПРИ ОСЕВОМ СЖАТИИ

Приводятся результаты экспериментальных исследований характеристик физико-механических и реологических свойств высокопрочных модифицированных бетонов на основе органоминеральных модификаторов с использованием техногенных отходов промышленности Донбасса.

Характерная для настоящего времени тенденция к интенсивному развитию высотного строительства из монолитного железобетона обусловливает увеличение объемов применения современных высококачественных бетонов, обладающих, наряду с высокими прочностными свойствами, высокой морозостойкостью и водонепроницаемостью, что обеспечивает требуемую долговечность конструкций, особенно в сложных условиях эксплуатации. Применяемые при этом высокопрочные бетоны предпочтительно изготавливать с использованием обычных заполнителей и цементов, чтобы стоимость бетона существенно не увеличивалась. Решение этой проблемы достигается в большинстве случаев повышением характеристик цементного камня путем применения комплексных модификаторов, которые на рынке Украины представлены преимущественно импортной продукцией и имеют сравнительно высокую стоимость из-за отсутствия аналогов отечественного

производства. Аналогичный эффект может быть достигнут путем применения органоминеральных добавок (ОМД) на основе микрокремнезема и золы уноса, которые присутствуют в составе части техногенных отходов промышленности Донбасса. Закономерности изменения физико-механических и реологических свойств таких бетонов в условиях кратковременного и длительного нагружения, характерные для высотных объектов башенного типа с высоким уровнем напряжений, изучены недостаточно и требуют дополнительных исследований.

Методические особенности экспериментальных исследований и характеристики опытных образцов

Физико-механические и реологические свойства высокопрочных модифицированных бетонов исследовали на образцах трех серий двух составов (серия №1 и №3 – состав №1, серия №2 – состав №2) с использованием ОМД (табл.1) в условиях нормальной температуры по стандартным методикам. Образцы – в форме кубов и призм с размерами основания 100х100 мм. В состав ОМД включены микрокремнезем Стахановского завода в количестве 70% и тонкопомолотая золошлаковая смесь Углегорской ТЭС в количестве 30% от общего веса ОМД. Бетонные смеси характеризуются высокой подвижностью ($OK = 15-21$ см) и достаточно низкой водопотребностью: $V/B=0,23$ – для состава №1; $V/B=0,19-0,2$ – для состава №2. Образцы распалубливали на третий день после бетонирования, при этом часть образцов хранили в воде, а часть, предназначенную для измерений деформаций усадки, хранили при температуре $t^\circ=20\pm 2$ °С и относительной влажности воздуха $W=90\pm 5\%$. Продолжительность измерений деформаций усадки соответствовала сроку окончания длительного нагружения образцов и составила $T=201$ сут. со дня бетонирования.

Характеристики физико-механических свойств бетонов исследуемых составов определяли в возрасте 28 и 78 сут. путем прессовых испытаний опытных образцов по стандартной методике (рис.1). Измерение линейных продольных и поперечных деформаций образцов проводили с помощью индикаторов часового типа ИЧ-10 и МИГ-2 на базах измерения соответственно 250 и 100 мм. В процессе кратковременных прессовых испытаний нагружение осуществляли ступенями величиной по 0,1 от расчетной предельной нагрузки с 5-минутной выдержки на каждой ступени. Характеристики деформативных свойств бетона – начальный модуль упругости E_b и коэффициент поперечных деформаций μ определяли в соответствии с ГОСТ 24452-80, а предельные деформации $\overline{\varepsilon}_3$ – по опытным величинам, соответствовавшим достигнутому в опыте максимальному уровню напряжений R_b .

Таблица 1 – Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси для серий №1 и №2

№ п/п	Наименование компонентов	Расход, кг(л)/м ³	
		состав №1	состав №2
1	Портландцемент пластифицированный М500 Балаклейского цементного комбината	545	728
2	Органоминеральный модификатор (ОМД)	190	236
3	Песок крупнозернистый 2-2,5мм Просьяновский карьер	660	1036
4	Щебень фракции 10-20мм	870	-
5	Зола-унос Зуевской ТЭС	-	164
6	Вода	153 л	165 л
7	Суперпластификатор ФМ794	16,8 л	22,6 л
Объемный вес		2435	2352

* Примечание: составы приняты согласно [1].



Рис.1 – Общий вид опытного образца, оснащенного приборами для измерения деформаций при прессовых испытаниях

Деформации ползучести исследовали на образцах 1-й и 2-й серий при загрузении в возрасте 109 сут. со дня бетонирования по стандартным методикам и с учетом рекомендаций [2-4]. Режим нагружения – жесткий со ступенчатым приложением нагрузки до уровня $\eta = \sigma / R_b = 0,6$ в течение 40 мин. и последующей выдержкой в течение $T=90$ сут. Испытания проводили в условиях лабораторного корпуса при температуре $t^\circ = 16-20^\circ\text{C}$ и относительной влажности $W = 70 \pm 5\%$.

Длительное нагружение образцов осевой сжимающей силой осуществляли на специальных установках с помощью гидравлических домкратов ДГ-200. Во избежание потерь давления на этапах длительной выдержки в гидросистему домкратов были включены баллоны-ресиверы со сжатым воздухом (рис.2).

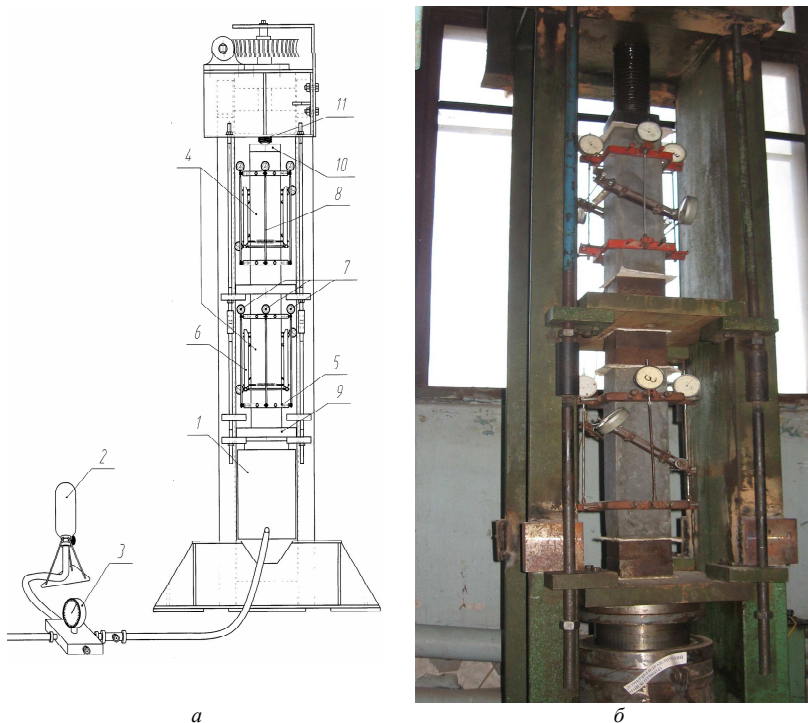


Рис.2 – Схема нагружения образцов-призм (а) и общий вид (б) установки для исследования ползучести бетона при осевом сжатии:

1 – домкрат ДГ-200; 2 – баллон-ресивер со сжатым воздухом; 3 – манометр; 4 – испытываемые образцы; 5, 6 – рамки для крепления приборов, измеряющих соответственно продольные и поперечные деформации; 7 – индикаторы часового типа; 8 – кварцевые удлинители; 9 – металлические плиты-пластины; 10 – шаровой шарнир; 11 – винт.

После стабилизации деформаций ползучести в условиях длительного осевого сжатия при уровне $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$ в возрасте $T=201$ сут. осуществляли полную разгрузку образцов и последующие прессовые испытания для определения степени влияния длительного предварительного обжатия на характеристики физико-механических свойств бетона.

Результаты исследований

Средние значения кубиковой прочности \bar{R} для бетонов исследуемых составов серий 1, 2 и 3 в возрасте $T=28$ сут. составили соответственно 118, 122 и 101,4 МПа (табл.2). Средние значения призмной прочности бетона R_b при $t = +20^\circ\text{C}$ составили соответственно 90,9, 93,9 и 77,5 МПа. Соответствующие значения коэффициента призмной прочности для всех серий были примерно одинаковыми и равными $K_{nn} = R/R_b \approx 0,8$. Значения начального модуля упругости E_b составили 36,5, 41,5 и 48 МПа соответственно.

Таблица 2 – Характеристики механических свойств бетонов при осевом сжатии исследуемых составов

	№ серии	η_1	T, сут.	\bar{R} , МПа	$K_{nn} = R/R_b$	R_b , МПа	E_b , МПа	$\bar{\varepsilon}_e \cdot 10^{-3}$
Состав 1	Серия №1	0	28	118	0,77	90,9**	36,5**	-
			78	125**	0,8	100	40,1	2,73
			201	-		-	-	-
		0,6*	201	-		96,2	47	2,46
	Серия №3	0	7	80		-	-	-
			28	101,4	0,764	77,5	48	2,1
			78	103,2	0,8	83,5	49	1,91
Состав 2	Серия №2	0	28	122	0,77	93,9**	41,5**	-
			78	124**	0,8	99,75	44,1	3,22
			201	-		-	-	-
		0,6*	201	-		96,5	52	2,82

* – результаты повторного нагружения сжатием в возрасте $T=201$ сут. - после длительного обжатия уровнем $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$;

** – расчетные значения.

В возрасте $T=78$ сут. средние значения кубиковой прочности бетона образцов серий 1, 2, и 3 составили соответственно 125, 124 и 103,2 МПа, призмной прочности соответственно 100, 99,75 и 83,5 МПа, начального модуля упругости – соответственно $E_b=40,1$, $E_b=44,1$ и $E_b=49$ МПа. Коэффициент призмной прочности для образцов серии №3 в возрасте 78 сут. практически соответствовал его среднему значению в возрасте 28 сут., т.е. $K_{nn} = R/R_b \approx 0,8$.

После длительного осевого обжатия уровнем $\eta_1 = \sigma_1 / R_b \approx 0,6$ средние значения призмной прочности бетона при $t = +20^\circ\text{C}$ в возрасте $T=201$ сут. составили соответственно 96,2 и 96,5 МПа для образцов серий №1 и №2, а соответствующие значения начального модуля упругости – $E_b = 47$ и $E_b = 52$ МПа.

Диаграммы деформирования исследованных модифицированных бетонов для образцов-призм серий 1, 2, и 3 при кратковременном осевом сжатии в возрасте $T=28$ и 78 сут. при $\sigma_1=0$ и в возрасте $T=201$ сут. при $\sigma_1=0,6R_b$ в условиях нормальной температуры представлены на рис.3, а, б.

Результаты кратковременных испытаний образцов-призм на осевое сжатие в возрасте $T=78$ сут. и в возрасте $T=201$ сут. после длительного обжатия при уровне напряжений $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$ свидетельствуют о следующих закономерностях в изменении физико-механических свойств высокопрочных бетонов составов №1 и №2 (рис.4, а, б, в, г): предельные продольные деформации укорочения $\overline{\varepsilon}_b$ уменьшились соответственно на 10 и 13,5% (рис.4, а); значения начального модуля упругости E_b увеличились соответственно на 19,7 и 17,6% (рис.4, в); значения коэффициента поперечных деформаций μ для образцов обеих серий практически не изменились и находились в диапазоне $\mu=0,22\div 0,24$ (рис.4, г).

Деформации усадки у образцов серий №1 и №2 в возрасте $T=201$ сут. составили соответственно $\overline{\varepsilon}_b=64,3\cdot 10^{-5}$ и $\overline{\varepsilon}_b=47,4\cdot 10^{-5}$ (рис.5, а). Отмечается, что усадка мелкозернистого бетона состава №2 на 31% меньше значений усадки бетона состава №1. Это связано, прежде всего, с более высоким водоцементным и водовязущим отношением бетонной смеси состава №1, что обеспечило ее более высокую подвижность в сравнении с мелкозернистой смесью состава №2.

Предельные деформации ползучести бетона в возрасте 201 сут. для бетонных образцов серий №1 и №2 при уровне нагружения $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$ составили соответственно $\overline{\varepsilon}_b=28\cdot 10^{-5}$ и $\overline{\varepsilon}_b=34,5\cdot 10^{-5}$, а остаточные деформации после полной разгрузки образцов составили соответственно $\overline{\varepsilon}_b=48,7\cdot 10^{-5}$ и $\overline{\varepsilon}_b=46\cdot 10^{-5}$ (рис.5, в). Соответствующие значения меры ползучести бетона составили соответственно $C=5,65\cdot 10^{-5}$ и $C=3,31\cdot 10^{-5}$ МПа¹ (рис.5, б).

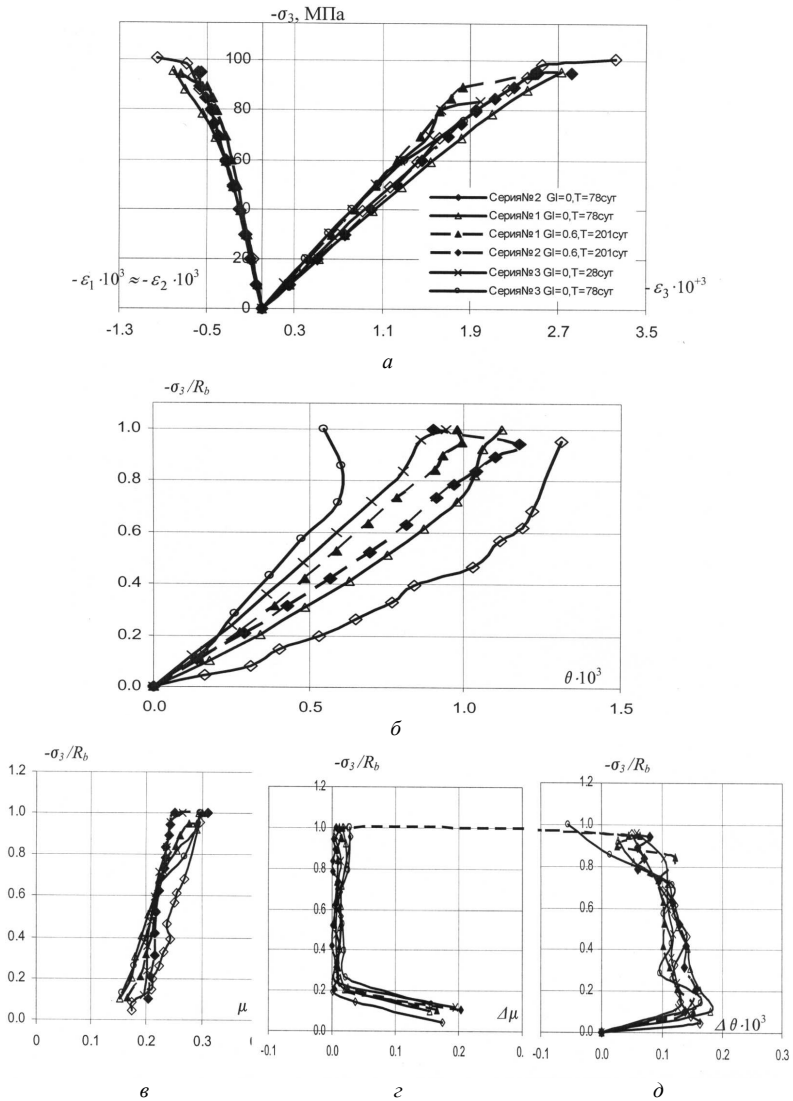


Рис.3 – Влияние длительного обжата уровнем $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$ на диаграммы деформирования (а), относительные изменения объема θ (б), значения коэффициентов поперечных деформаций бетона μ (в) и дифференциальных значений $\Delta\mu$ (г) и $\Delta\theta$ (д) для образцов серий №1, №2 и №3

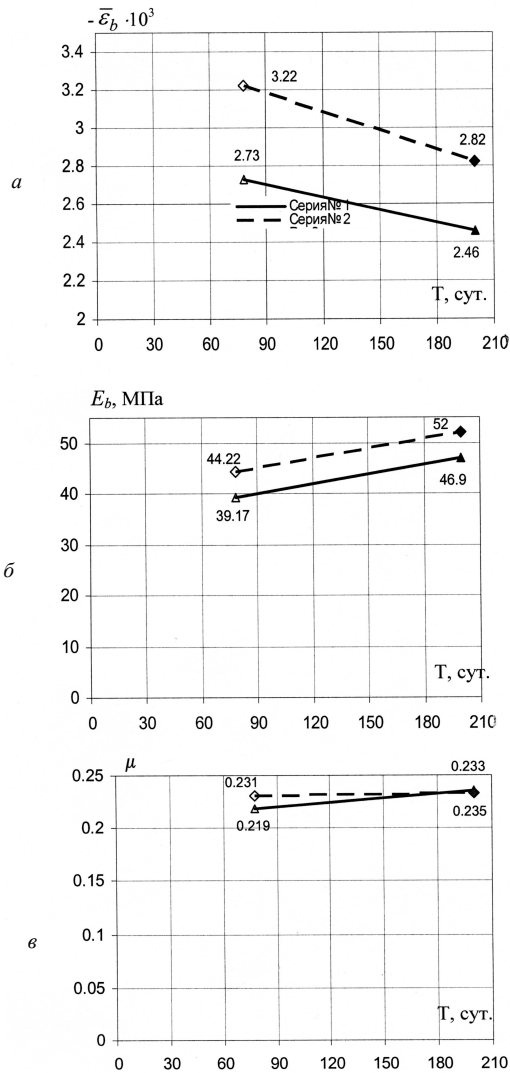


Рис.4 – Влияние длительного осевого сжатия $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$ на предельную сжимаемость $-\bar{\epsilon}_b \cdot 10^3$ (а), начальный модуль упругости E_b (б) и коэффициент поперечных деформаций бетона μ (в)

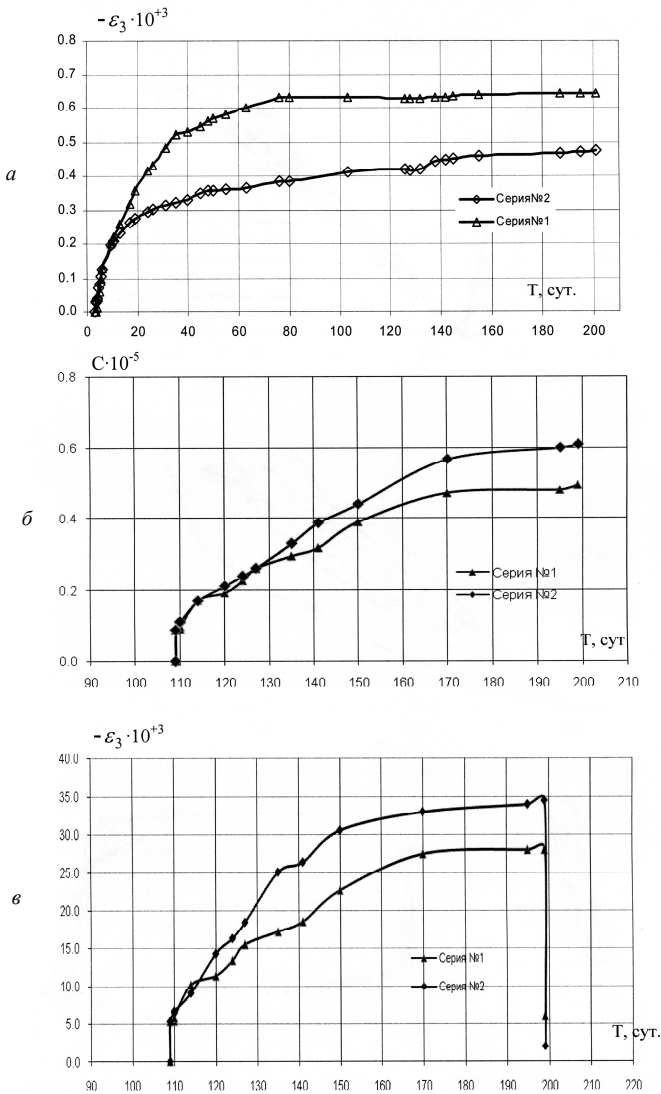


Рис.5 – Деформации усадки (a), диаграммы изменения меры ползучести (b) и деформаций ползучести бетона ($в$) в образцах серий №1 и №2 при длительном осевом сжатии уровнем $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$

Основные выводы

1. Увеличение возраста бетона составов №1 и №2 к моменту кратковременных испытаний с $T = 28$ сут. до $T = 78$ сут. приводит к увеличению кубиковой прочности \overline{R} соответственно на 6 и 3%, призмочной прочности R_b на 9,1 и 6,3% и начального модуля упругости бетона E_b на 9,9 и 6,3%.

2. Значения коэффициента призмочной прочности K_{mn} для бетонов исследуемых составов практически не зависят от возраста бетона и составляют в среднем $K_{mn} = R/R_b \approx 0,8$.

3. Деформации усадки для мелкозернистого бетона в возрасте 201 сут. в среднем на 31% меньше деформаций усадки бетона на крупном заполнителе, что объясняется более высоким водоцементным и водовязущим отношением бетонной смеси состава №1.

4. Предельные деформации ползучести мелкозернистого бетона (серия №1) в среднем на 19% выше соответствующих значений для бетона с крупным заполнителем.

5. Длительное предварительное осевое обжатие образцов бетона уровнем напряжения $\eta_1 = \sigma_1 / R_b = 0,6$ в возрасте $T=78$ сут. приводит к снижению призмочной прочности R_b в среднем на 4-5%, предельных продольных деформаций $\varepsilon_3 \cdot 10^3$ на 10-13,5%, к увеличению начального модуля упругости E_b на 17-19%.

6. Возраст бетона и длительное предварительное обжатие уровнем $\eta_1 = 0,6$ практически не влияют на значения коэффициента поперечных деформаций μ для бетонов исследуемых составов, равняясь значению $\mu = 0,22 \div 0,24$.

7. Результаты исследований свидетельствуют о хороших перспективах использования зол ТЭС Донбасса для получения высокопрочных бетонов классов В60 и выше.

1. Корсун В.И., Зайченко М.М., Волков А.С. Деформативні властивості дрібнозернистих високоміцних бетонів з органіномінеральним модифікатором на основі мінеральних відходів промисловості Донбасу // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Київ: ДонНАБА, 2008. – С.83-93.

2. Прокопович И.Е., Застава М.М. О расчетном определении длительных деформаций тяжелого бетона // Бетон и железобетон. – 1972. – №5. – С.35-37.

3. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива // Бетон и железобетон. – 1999. – №6(501). – С.6-10.

4. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1988.

Получено 12.02.2009